

Bab II Tinjauan Pustaka

II.1 Prinsip Dasar Stabilisasi

Stabilisasi tanah adalah upaya untuk memperbaiki sifat-sifat tanah sehingga memiliki daya dukung yang baik dan memenuhi spesifikasi teknis tertentu. Proses stabilisasi tanah meliputi pencampuran tanah dengan tanah lain untuk memperoleh gradasi yang diinginkan, atau pencampuran tanah dengan bahan tambah sehingga sifat-sifat tanah menjadi lebih baik. Agar dapat merubah sifat-sifat tanah seperti : kapasitas dukung, kompresibilitas, permeabilitas, kemudahan dikerjakan, potensi pengembangan, dan sensitivitas terhadap perubahan kadar air, maka dapat dilakukan dengan penanganan dari yang paling mudah seperti pemadatan sampai yang lebih mahal seperti : penambahan semen, kapur, abu terbang, dll. (Hardyatmo, 2010).

Dalam perancangan perkerasan jalan, kualitas setiap lapisan harus memenuhi syarat tertentu. Setiap komponen lapis perkerasan harus mampu mengakomodasi tegangan regangan yang terjadi ketika dikenakan beban. Terdapat dua kriteria keruntuhan pada struktur perkerasan akibat tegangan regangan kritis yang terjadi yaitu fatigue cracking (bagian bawah lapis permukaan) dan permanen deformation (bagian atas tanah dasar). Jika material tanah distabilisasi, maka kualitasnya menjadi bertambah, dan kemampuan lapisan tersebut dalam mendistribusikan beban ke area yang lebih luas juga bertambah, sehingga mereduksi tebal perkerasan yang dibutuhkan.

Pada prinsipnya stabilisasi tanah dapat dilakukan dengan cara sebagai berikut :

A. Stabilisasi Tanah Secara Mekanik

Stabilisasi tanah secara mekanik dilakukan dengan cara pemadatan, perbaikan gradasi, dan penggantian tanah. Pemadatan dilakukan sebagai upaya untuk mengurangi rongga - rongga dalam tanah sehingga terjadi kontak antara butir-butir tanah yang dapat meningkatkan kekuatan geser tanah. Perbaikan gradasi dilakukan dengan mencampur dua atau lebih tanah dengan gradasi berbeda untuk memperoleh

material yang memenuhi syarat kekuatan tertentu. Penggantian tanah dilakukan dengan mengupas tanah eksisting dan diganti dengan tanah dari tempat lain yang memiliki daya dukung yang lebih baik.

Stabilisasi tanah secara mekanik merupakan suatu proses yang menyangkut dua cara perubahan sifat-sifat tanah (Lambe, 1962) :

- Penyusunan kembali partikel-partikel tanah. Contohnya pencampuran beberapa lapisan tanah, pembentukan kembali tanah yang telah terganggu, dan pemadatan.
- Penambahan atau penyingkiran partikel-partikel tanah. Sifat-sifat tanah tertentu dapat diubah dengan menambah atau menyingkirkan sebagian fraksi tanah. Contohnya, lempung berpasir dicampur dengan kerikil untuk meningkatkan daya dukung tanah dasar.

B. Stabilisasi Tanah Secara Kimia

Stabilisasi tanah secara kimia bertujuan untuk memperbaiki sifat-sifat tanah dengan cara mencampur tanah dengan bahan tambah pada perbandingan tertentu. Contoh bahan tambah adalah : semen, kapur, fly ash, silica fume, dll. Bahan tambah yang dicampur dengan tanah, akan menyebabkan terjadinya reaksi kimia yang bersifat memperbaiki sifat-sifat tanah seperti : kekuatan, tekstur, kemudahan dikerjakan, dan plastisitas.

Berbagai perbaikan sifat tanah dengan cara stabilisasi akan berpengaruh pada sifat-sifat tersebut pada saat yang bersamaan, tetapi masing-masing harus diperhatikan secara terpisah. Berikut adalah penggunaan beberapa metoda stabilisasi untuk berbagai jenis tanah.

Tipe tanah		Lempung halus	Lempung kasar	Lanau halus	Lanau kasar	Pasir halus	Pasir kasar
Ukuran butiran Tanah (mm)		<0,0006	0,0006 - 0,002	0,002 - 0,01	0,01 - 0,06	0,06 - 0,40	0,4 - 2,0
Stabilitas volume tanah		Sangat buruk	Sedang	Sedang	Baik	Sangat baik	Sangat baik
Tipe stabilisasi	Kapur						
	Semen						
	Aspal						
	Polimerik-organik						
	Mekanis						
	Termal						
		= Efisiensi maksimum		= efektif, tapi pengendalian mutu sulit			

Gambar II.1 Penerapan Metode Stabilisasi (Metcalf, 1977)

II.2 Stabilisasi Tanah Semen

Sejak tahun 1917, semen portland sudah digunakan sebagai bahan untuk stabilisasi tanah. Pembangunan jalan pertama dengan campuran tanah semen dilakukan di Johnsonville, Amerika Serikat pada tahun 1935. Hingga saat ini, stabilisasi tanah dengan semen sering diaplikasikan pada proyek-proyek jalan raya dan lapangan terbang. Mekanisme stabilisasi dengan semen terhadap tanah adalah adanya sementasi material selama proses hidrasi semen. Ikatan yang kuat antara partikel secara terus menerus membentuk suatu rangkaian yang keras sehingga material menjadi kuat dan padat.

Keuntungan dari pemakaian semen untuk stabilisasi adalah semen memberikan ikatan antar partikel tanah yang lebih kuat. Pada umumnya Soil Cement mengalami retak rambut karena susut material akibat proses hidrasi semen, pada hari pertama pelaksanaan. Retak rambut akan semakin melebar dengan berjalannya waktu, karena proses hidrasi semen masih berlangsung. Zat aditif hanya diperlukan untuk memperbaiki kinerja Soil Cement dan bukan sebagai bahan pokok.

Stabilisasi tanah semen dilakukan sebagai upaya untuk meningkatkan kekuatan tanah natural. Kekuatan minimal dari campuran tanah semen untuk digunakan

sebagai lapis pondasi pada perkerasan jalan yaitu 20 kg/cm² (Spesifikasi Umum Bina Marga, 2018). Untuk memenuhi syarat teknis tersebut, maka penggunaan bahan-bahan tanah, semen, dan air harus diperhatikan.

A. Tanah

Highway Research Board of America (1943), menyarankan batas-batas distribusi ukuran butiran dan batas-batas Atterberg untuk tanah-tanah yang secara ekonomis dapat distabilisasi ditunjukkan dalam tabel berikut.

Tabel II.1 Batas-batas Distribusi Butiran dan Batas-Batas Atterberg Tanah yang Secara Ekonomis Dapat Distabilisasi

Batas-Batas Distribusi Butiran	Batas-Batas Atterberg
- Ukuran Butiran Maksimum 3" - Lolos Saringan 3/16 > 50% - Lolos Saringan No. 36 > 15% - Lolos Saringan No. 200 < 50%	- Batas Cair (LL) < 40 - Indeks Plastisitas (PI) < 18

Hasil yang baik dalam stabilisasi semen adalah bila tanah asli bergradasi baik dan mempunyai butiran halus kurang dari 50%, serta indeks plastisitas kurang dari 18, dan batas cair kurang dari 40.

Umumnya, direkomendasikan untuk stabilisasi tanah semen, banyaknya kadar semen adalah sekitar 5% untuk tanah kerikil, 12% untuk tanah lanau, dan 20% untuk tanah lempung. Walaupun kadar semen sudah ditinggikan dalam tanah lempung, namun kekuatan campuran sangat kecil dibandingkan tanah berpasir dan kerikil berpasir.

Portland Cement Association (1979) menyaratkan tanah yang akan distabilisasi dengan semen sebaiknya tanah-tanah berpasir dan berkerikil dengan :

- 10-35% lolos saringan No. 200
- 55% atau lebih, lolos saringan No. 4
- 37% atau lebih, lolos saringan No. 10
- Tidak ada material lebih besar dari 2"

Material yang lebih halus atau lebih kasar dari nilai-nilai batasan tersebut cenderung memerlukan kadar semen yang tinggi.

A.1. Tanah Mengandung Bahan Organik

Pada umumnya, bahan organik cenderung mereduksi kekuatan campuran tanah semen. Bahan organik dan kadar garam tinggi khususnya sulfat, dapat menghambat atau mencegah hidrasi semen dalam campuran tanah semen. Hal ini, karena bahan organik tersebut cenderung menyerap ion-ion kalsium. Oleh karena itu, penambahan sumber kalsium, seperti kalsium klorida atau kapur terhidrasi, memungkinkan tanah tersebut dapat dirawat. Semen khusus, yaitu semen cepat mengeras yang mengandung kalsium klorida, cocok digunakan untuk stabilisasi tanah bila tanah mengandung organik. Namun, umumnya disarankan tanah yang distabilisasi sebaiknya tidak mengandung bahan organik, atau kadar organiknya harus rendah agar hasilnya baik. Pada umumnya, kadar organik sekitar 2% merupakan nilai batas maksimumnya.

Untuk mendeteksi adanya material organik pada tanah, maka dapat dilakukan uji pH. Jika campuran tanah terhadap semen (terhadap berat kering) 10 : 1, yang dicampur selama 15 menit mempunyai pH paling sedikit 12,0, maka bahan organik tidak akan menghambat reaksi pengerasan. Untuk menentukan kadar semen yang memenuhi syarat, maka dapat dilakukan uji kuat tekan bebas.

A.2. Tanah Mengandung Sulfat

Pada umumnya, bahan organik cenderung mereduksi kekuatan campuran tanah semen. Bahan organik dan kadar garam tinggi khususnya sulfat, dapat menghambat atau mencegah hidrasi semen dalam campuran tanah semen.

Tanah yang netral, mengandung asam atau alkali, masih dapat distabilisasi dengan semen, dan akan memperlihatkan sifat kenaikan kuat geser dan lain-lain. Namun, komposisi kimia tanah penting diketahui, karena jika dalam tanah banyak mengandung garam, maka akan berpengaruh buruk pada campuran. Seperti pada beton, sulfat dapat mempengaruhi campuran tanah semen, karena hidrasi semen menjadi terganggu. Akibatnya, kualitas campuran tanah semen menjadi buruk.

Menurut *Road Research Laboratory* (1968), pengaruh buruk ini tidak hanya karena reaksi yang mempengaruhi ikatan semen, tapi juga oleh gangguan struktur tanah semen setelah itu, yang disebabkan oleh kristalisasi dari garam terhidrasi tinggi dalam pori-pori.

Tahanan terhadap pengaruh sulfat untuk tanah berbutir kasar dan berbutir halus yang distabilisasi semen berbeda. Reaksi sulfat dengan lempung dapat menyebabkan kerusakan pada tanah berbutir halus yang distabilisasi semen. Sebaliknya, stabilisasi semen pada tanah berbutir kasar tidak begitu dipengaruhi sulfat. Menurut *Departemenr of The Army and The Air Force* (1994), Penggunaan semen untuk stabilisasi tanah berbutir halus yang mengandung sulfat 1% harus dihindarkan. Menurut *Ingels and Metcalf* (1972), disintegrasi semen dalam stabilisasi tanah, oleh akibat aksi sulfat, terjadi jika tanah mempunyai banyak fraksi lempung, dan jika ada kenaikan kadar air yang lebih tinggi dari kadar air saat pemadatan.

B. Semen

Semen adalah material yang mempunyai sifat-sifat adhesif dan kohesif sebagai perekat yang mengikat fragmen-fragmen mineral menjadi suatu kesatuan yang kompak. Semen dikelompokkan ke dalam 2 (dua) jenis yaitu semen hidrolis dan semen non-hidrolis.

Semen hidrolis adalah suatu bahan pengikat yang mengeras jika bereaksi dengan air serta menghasilkan produk yang tahan air. Contohnya seperti semen portland, semen putih dan sebagainya, sedangkan semen non-hidrolis adalah semen yang tidak dapat mengikat dan mengeras didalam air, akan tetapi dapat mengeras di udara. Contoh utaman dari semen non-hidrolis adalah kapur.

Semen Portland adalah semen hidrolis yang dihasilkan dengan cara mencampurkan batu kapur yang mengandung kapur (CaO) dan lempung yang mengandung silika (SiO_2), oksida alumina (Al_2O_3) dan oksida besi (Fe_2O_3) dalam oven dengan suhu kira-kira 145°C sampai menjadi Klinker. Klinker ini dipindahkan, digiling sampai

halus disertai penambahan 3-5% gips untuk mengendalikan waktu pengikat semen agar tidak berlangsung terlalu cepat (Aman Subakti,1994).

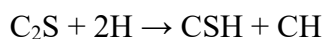
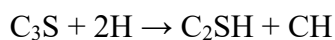
Dalam semen portland terdapat susunan senyawa semen sebagai berikut :

- $C_3S = 3 CaO.SiO_2$ (Trialsium Silikat) mempunyai andil yang besar terhadap fungsi sebagai perekat dan dapat mengeras jika bereaksi dengan air sehingga dapat meningkatkan kekuatan tekan
- $C_2S = 2 CaO.SiO_2$ (Dikalsium Silikat) berfungsi sama dengan C_3S
- $C_3A = 3 CaO.Al_2O_3$ (Trialsium Aluminat) dalam semen *portland* tidak berfungsi sebagai perekat. Senyawa ini hanya berfungsi sebagai *fluks* (bahan pelebur) sewaktu masih ada dalam tungku pembakaran, sehingga akan mudah terbentuk senyawa C_3S dan C_2S
- $C_4AF = 4 CaO.Al_2O_3.Fe_2O_3$ Tetra Alumineferrit) berfungsi sama seperti C_3A serta andil terhadap warna semen
- *Gips* = $CaSO_4.2H_2O$ berfungsi sebagai retarder atau memperlambat waktu pengerasan tepung semen portland bila bercampur dengan air
- Selain itu terdapat komposisi kimia lain seperti : $C = CaO$, Na_2O , K_2O dalam jumlah yang kecil

Kalsium silikat (C_3S dan C_2S) merupakan unsur yang paling banyak, yaitu mencapai 70-80% dari semen, sehingga merupakan unsur yang berpengaruh besar pada sifat semen. Bila semen terkena air, C_3S segera terhidrasi dan menghasilkan panas. Selain itu, C_3S juga berpengaruh besar pada kecepatan pengerasan semen, terutama sebelum mencapai umur 14 Hari. Sebaliknya, C_2S bereaksi lebih lambat dengan air, sehingga pengaruhnya pada pengerasan semen setelah berumur lebih dari 7 hari, dan kemudian memberikan kekuatan finalnya. Unsur C_2S juga membuat semen tahan terhadap serangan bahan kimia, selain juga mereduksi besarnya penyusutan saat pengeringan. Untuk terjadinya reaksi kimia, kedua unsur utama ini membutuhkan air berturut-turut sekitar 24% dan 21% dari beratnya. Namun, saat terjadi hidrasi, C_3S membebaskan kalsium hidroksida hampir tiga kali lebih banyak dari yang dibebaskan oleh C_2S . Oleh karena itu, jika C_3S mempunyai presentasi

lebih tinggi, maka akan dihasilkan proses pengerasan yang cepat pada pembentukan kekuatan awalnya yang disertai dengan panas hidrasi yang tinggi. Sebaliknya, persen C_2S yang lebih tinggi menghasilkan proses pengerasan yang lambat, panas hidrasi yang rendah, dan mempunyai ketahanan terhadap serangan kimia yang lebih baik (Hadiyatmo, 2010).

Pada tanah-tanah pasir, banyak partikel-partikel tanah yang tersementasi. Namun dalam tanah lempung, proporsi partikel yang tersementasi kecil. Karena semen portland biasa terdiri dari 45% C_3S dan 27% C_2S , dan berhidrasi oleh adanya tanah dalam bentuk gel mono dan dikalsium silikat hidrat (CSH dan C_2SH), reaksinya dapat dinyatakan sebagai berikut (Metcalf, 1972).



Kapur bebas (CH) terlepas dalam reaksi hidrasi. Gel kalsium silikat yang tidak larut, mengkristal sangat lambat ke dalam suatu matrik saling mengisi.

Berbagai jenis semen dapat digunakan untuk stabilisasi, tapi semen tipe I lebih banyak digunakan. Semen tipe II atau tipe V juga pernah digunakan, karena ketahanan yang lebih besar terhadap sulfat, dengan biaya yang dikeluarkan relatif sama. Semen tipe III yang mempunyai ukuran butiran lebih halus dan terdiri dari beberapa komposisi campuran yang berbeda menghasilkan kekuatan yang lebih tinggi pada stabilisasi tanah tertentu.

C. Air

Air dengan volume tertentu ditambahkan pada proses stabilisasi dengan semen mempunyai dua fungsi, yaitu pertama untuk memungkinkan terjadinya reaksi kimia dengan semen selama proses pengerasan, kedua sebagai pelumas antara butiran tanah dan semen sehingga memudahkan dalam proses pencampuran dan pemadatan. Hal yang penting adalah banyaknya air yang diperlukan dalam proses pemadatan, bukan air yang dibutuhkan untuk hidrasi semen (Metcalf, 1972). Air

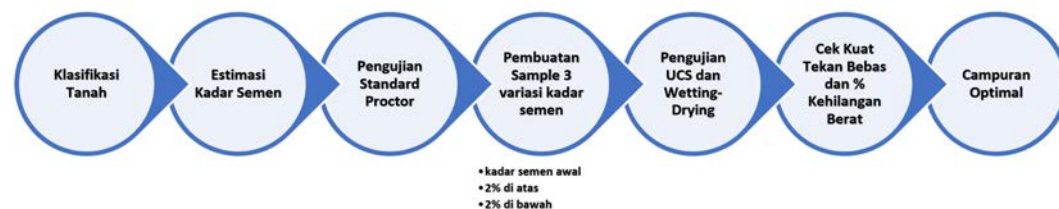
yang digunakan untuk stabilisasi semen harus bersih, tidak mengandung asam, alkali, bahan organik, minyak, sulfat, dan klorida.

II.3 Konsep Perancangan Campuran Tanah Semen

Konsep perancangan campuran tanah semen dimulai dengan analisis karakteristik tanah natural. Selanjutnya, dengan menggunakan hubungan klasifikasi tanah dan persentase semen, ditentukan komposisi campuran antara tanah dan semen dalam rasio yang tepat. Perancangan ini melibatkan uji laboratorium untuk menentukan kadar semen yang optimal. Hasil akhir dari proses ini adalah campuran tanah semen optimal yang memenuhi kriteria kekuatan dan keawetan yang disyaratkan.

A. *Departement of The Army, The Navy, And The Airforce (1994)*

Berikut adalah konsep perancangan campuran tanah semen yang diusulkan oleh *Departement of The Army, The Navy, And The Airforce (1994)*.



Gambar II.2 Konsep Perancangan Campuran Tanah Semen *Departement of The Army (1994)*

Tabel II.2 Kadar Semen Percobaan *Departement of The Army (1994)*

Soil Classification	Initial Estimated Cement Content percent dry weight
GW, SW	5
GP, GW-GC, GW-GM, SW-SC, SW-SM	6
GC, GM, GP-GC, GP-GM, GM-GC, SC, SM, SP-SC, SP-SM, SM-SC, SP	7
CL, ML, MH	9
CH	11

Tabel II.3 Syarat Minimum Kuat Tekan Bebas *Departement of The Army* (1994)

Lapisan tanah distabilisasi	Kuat tekan bebas minimum*	
	Perkerasan lentur (aspal)	Perkerasan kaku (beton)
Lapis pondasi atas	5175 kPa (750 psi)	3450 kPa (500 psi)
Lapis pondasi bawah, material pilihan atau tanah-dasar	1725 kPa (250 psi)	1380 kPa (200 psi)

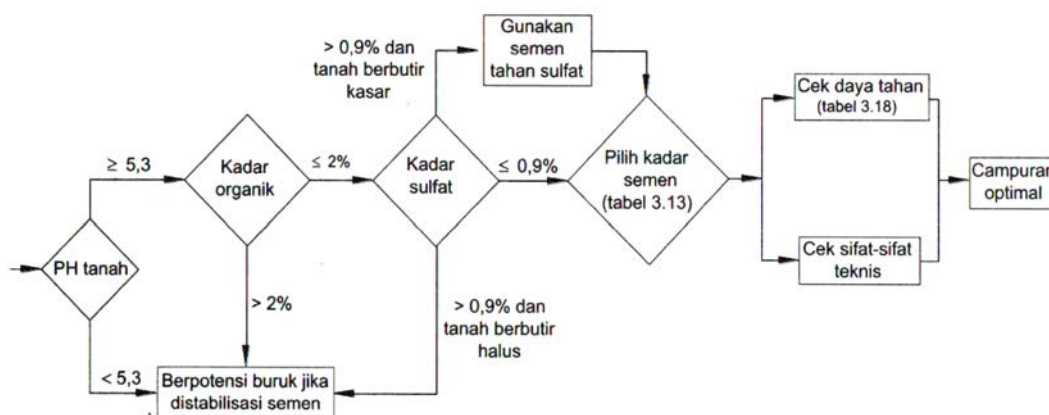
* Kuat tekan bebas umur 7 hari

Tabel II.4 Syarat Daya Tahan *Departement of The Army* (1994)

Tipe tanah yang distabilisasi	Kehilangan berat maksimum ijin, setelah 12 kali basah-kering atau beku-cair. Persen berat awal benda uji (%)
Granuler, $PI < 10$	11
Granuler, $PI > 10$	8
Lanau	8
Lempung	6

B. Rollings and Rollings (1996)

Berikut adalah konsep perancangan campuran tanah semen yang diusulkan oleh *Rollings and Rollings* (1996).



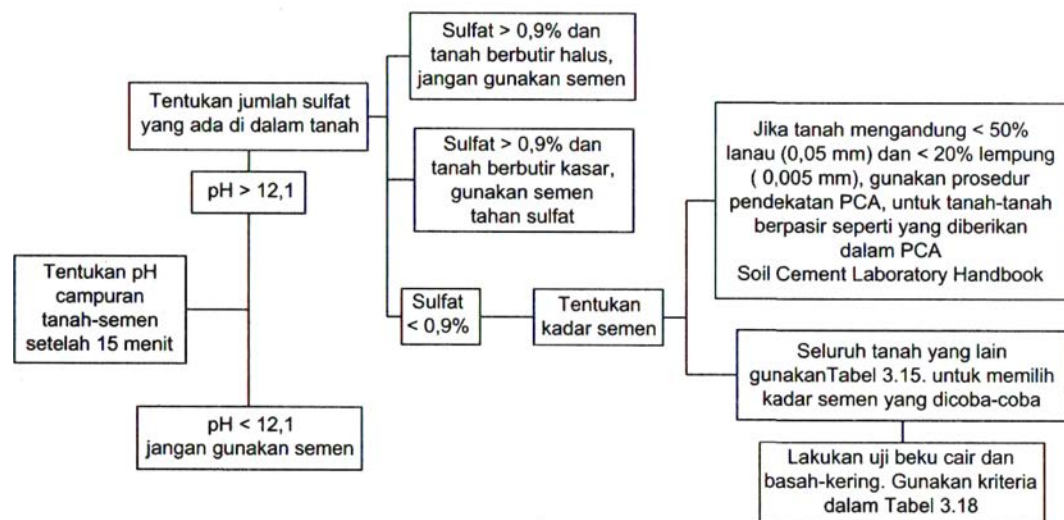
Gambar II.3 Konsep Perancangan Campuran Tanah Semen *Rollings and Rollings* (1996)

Tabel II.5 Kadar Semen Percobaan *Rollings and Rollings* (1996)

Macam tanah	Kadar semen, persen terhadap berat kering
Granuler, gradasi baik, GW, SW	4 – 5
Granuler, gradasi buruk atau berlanau, GP, GM, SP, SM	5 – 6
Granuler, halus berlempung, GC, SC	7 – 8
Pasir seragam halus, SP, SM	9 – 10
Lempung dan lanau, plastisitas rendah, CL, ML	9 – 10
Lempung dan lanau, plastisitas tinggi, CH, MH	11 – 12
Tanah organik, OL, OH	13 – 14

C. Alaska Soil Stabilization Design Guide (2002)

Berikut adalah konsep perancangan campuran tanah semen yang diusulkan oleh *Alaska Soil Stabilization Design Guide* (2002).



Gambar II.4 Konsep Perancangan Campuran Tanah Semen *Alaska Design Guide* (2000)

Tabel II.6 Kadar Semen Percobaan *Alaska Design Guide* (2000)

Klasifikasi AASHTO	Klasifikasi Unified	Kisaran kebutuhan kadar semen umumnya		Estimasi kadar semen dan kadar semen dalam uji pemadatan (% berat)	Kadar semen untuk uji basah-kering dan beku-cair (% berat)
		% terhadap volume	% terhadap berat		
A-1-a	GW,GP,GM SW,SP,SM	5 – 7	3 – 5	5	3 – 5 – 7
A-1-b	GM, GP, SM, SP	7 – 9	5 – 8	6	4 – 6 – 8
A-2	GM, GC, SM, SC	7 – 10	5 – 9	7	5 – 7 – 9
A-3	SP	8 – 12	7 – 11	9	7 – 9 – 11
A-4	CL, ML	8 – 12	7 – 12	10	8 – 10 – 12
A-5	ML, MH, CH	8 – 12	8 – 13	10	8 – 10 – 12
A-6	CL, CH	10 – 14	9 – 15	12	10 – 12 – 14
A-7	OH, MH, CH	10 – 14	10 – 16	13	11 – 13 – 15

Tabel II.7 Syarat Daya Tahan *Alaska Design Guide* (2000)

Kelompok tanah klasifikasi AASHTO	Kelompok tanah sistem klasifikasi Unified	Kehilangan berat maksimum dari uji daya tahan (%)
A-1-a	GW, GP,GM, SW,SP, SM	14
A-1-b	GM, GP, SM, SP	14
A-2	GM, GC, SM, SC	14
A-3	SP	14*
A-4	CL, ML	10
A-5	ML, MH, CH	10
A-6	CL, CH	7
A-7	OH, MH, CH	7

*Kehilangan berat maksimum untuk A-2-6 dan A-2-7 adalah 10%.

D. Spesifikasi Umum Bina Marga (2018)

Berikut adalah konsep perancangan campuran tanah semen yang diusulkan oleh Spesifikasi Umum Bina Marga (2018).



Gambar II.5 Konsep Perancangan Campuran Tanah Semen Spesifikasi Umum Bina Marga (2018)

Tabel II.8 Sifat-sifat Campuran yang Disyaratkan Spesifikasi Umum Bina Marga (2018)

PENGUJIAN	BATAS-BATAS SIFAT (Setelah Perawatan 7 Hari)		METODE PENGUJIAN
	Minimum	Maksimum	
Unconfined Compressive Strength (UCS) kg/cm ²	20	35	SNI 03-6887-2002
Pengujian Wetting & Drying			SNI 13-6427-2000
(i) % Kehilangan Berat	-	7	
(ii) % Perubahan Volume	-	2	

II.4 Bahan Tambah Campuran Tanah Semen

A. Lime

Kapur berasal dari batukapur (limestone) atau dolomite. Batukapur terbentuk dari kalsium, karbon, dan oksigen. Sedangkan, dolomite mengandung zat kimia yang sama ditambah magnesium. Tipe kapur tertentu yang terbentuk, bergantung pada material induk dan proses produksinya. Kapur yang umumnya dipakai sebagai bahan stabilisasi adalah kapur terhidrasi kalsium hidroksida ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) dan kalsium oksida (CaO). Penambahan kapur ke dalam tanah, memberikan ion-ion kalsium yang berlimpah (ion-ion Ca^{2+} dan Mg^{2+}). Ion-ion Ca ini cenderung menggantikan kation-kation pada umumnya, seperti sodium (Na^+) atau potasium

(K⁺) yang berada pada partikel tanah lempung. Proses ini disebut pertukaran kation (cation exchange). Penggantian sodium atau potasium dengan kalsium akan mereduksi indeks plastisitas tanah lempung secara signifikan. Penambahan kapur yang memberikan kenaikan pH tanah, juga menambah kapasitas pertukaran kation. Akibatnya, walaupun tanah mempunyai kalsium yang tinggi, stabilitas tanah dengan kapur tetap akan mereduksi plastisitas tanah. Reduksi plastisitas, umumnya diikuti pula dengan reduksi potensi kembang-susut tanah, reduksi kemudahan kehilangan kekuatan oleh perubahan kadar air, dan reduksi kelengkungan (Hardyatmo, 2010).

B. Fly Ash

Fly Ash merupakan bagian dari komposisi abu batu bara yang ditangkap dengan electro static precipitator sebelum dibuang ke udara melalui cerobong. Abu batu bara merupakan bahan anorganik dari sisa pembakaran batu bara yang berbentuk partikel halus. Komponen utama Fly Ash adalah silika (SiO₂), alumina (AlO₃), besi oksida (Fe₂O₃), dan kalsium (CaO). Fly Ash tidak memiliki kemampuan mengikat seperti halnya semen, namun oksida silika yang dikandung Fly Ash akan bereaksi secara kimia dengan kalsium hidroksida yang terbentuk dari proses hidrasi semen dan menghasilkan zat yang memiliki kemampuan mengikat sehingga dapat meningkatkan kekuatan campuran.

C. Silica Fume

Silica Fume merupakan bahan pozzolan halus hasil sampingan dari produk logam silikon atau alloy ferosilikon. Silica Fume mengandung senyawa silika (SiO₂) yang sangat tinggi yaitu sekitar 93%. Ditinjau dari sifat mekanik, secara geometrikan Silica Fume mengisi rongga-rongga di antara bahan semen, dan mengakibatkan diameter pori mengecil serta total volume pori juga berkurang. Silica Fume dapat berperan sebagai filler dan menambah pengikatan antara partikel-partikel.

D. Ground Granulate Blast-Furnace Slag (GGBFS)

GGBFS adalah granulate blast furnace slag yang sudah dihaluskan dan memiliki sifat cementitious sebagai bahan perekat. GGBFS utamanya mengandung kalsium,

aluminium, dan silika yang memiliki komposisi kimia tidak berbeda dengan bahan-bahan mineral alami termasuk bahan hidrasi seperti semen portland. GGBFS menunjukkan kualitas perekatan yang sama dengan semen portland sehingga dapat mengganti fungsi semen portland pada rentang yang luas dengan rasio perbandingan massa tertentu. GGBFS bereaksi ketika ditambahkan dengan air, akan tetapi hidrasi awal dari GGBFS sangat lambat dibandingkan dengan semen pada suhu pemeliharaan standar (20°C). Dengan demikian diperlukan semen atau ion alkali sebagai aktivator untuk meningkatkan reaksi tersebut. Hasil utama reaksi yang terbentuk ketika GGBFS dicampur dengan semen dan air adalah sama dengan hasil reaksi ketika hanya semen yang digunakan, yakni kalsium silikat hidroksit (C-S-H)¹². Semakin banyak GGBFS yang bereaksi dalam proses hidrasi, maka pori yang dihasilkan semakin berkurang dengan ukuran yang lebih kecil.

E. ECO-CURE²¹

ECO-CURE21 merupakan bahan penstabil tanah dari Jepang. ECO-CURE21 berupa material serbuk halus terdiri dari komposisi logam dan garam anorganik, bersumber dari air laut, aman untuk makhluk hidup dan ramah lingkungan. Bahan ini mampu meningkatkan kualitas tanah antara lain daya tahan terhadap beban tinggi, dapat memiliki porositas yang baik, anti retak, tidak licin dan berdebu, semakin terkena air semakin kuat, serta dapat mengeliminasi racun yang ramah lingkungan. Produk ini telah banyak digunakan di Jepang, Vietnam, Thailand sejak tahun 1995 untuk bangunan jalan. ECO-CURE21 cocok digunakan sebagai bahan tambah pada Soil Cement menjadi alternatif subbase pada perkerasan dengan lapis permukaan aspal, subbase pada perkerasan jalan yang tergenang air atau rawa, serta perbaikan subgrade dan lereng.

F. MATOS

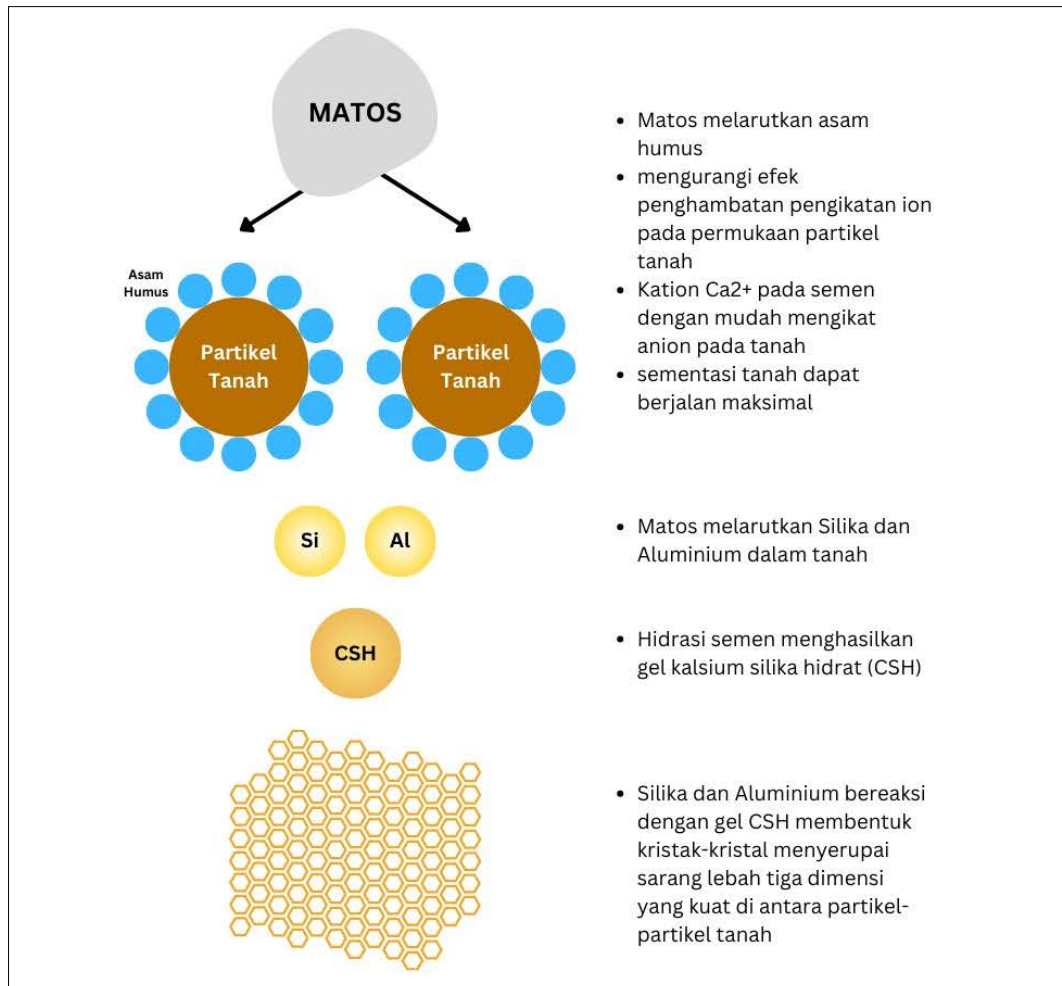
Matos adalah bahan aditif yang berfungsi untuk memadatkan (solidifikasi) dan menstabilkan (stabilizer) tanah secara kimia. Matos berupa material serbuk halus yang terdiri dari komposisi mineral anorganik.

Apabila partikel tanah kita lihat secara mikroskopis, maka pada permukaan tanah tersebut terdapat lapisan air yang tipis, kira-kira ketebalannya 0,5 mikron. Lapisan

ini memiliki kekuatan yang luar biasa, kira-kira 2000 kg untuk setiap 1 cm², untuk memindahkan lapisan air dibutuhkan energi yang besar. Sifat air yang melekat ini agak berbeda dengan air biasa yang kita ketahui 1 cc = 1 gram pada suhu 40°C untuk air normal, tetapi air ini adalah 1 cc = 1,4 gram. Air ini dapat bergerak dengan arah horizontal tetapi tidak dapat bergerak secara vertikal, air inilah yang menghambat semen menjadi keras. Terbentuknya humus adalah dengan melarutnya tanaman-tanaman yang sudah mati kedalam air yang menempel pada permukaan tanah humus (humic acid/RCOOH) ini menghambat terjadinya kontak antara kation kalsium (Ca⁺⁺) pada semen dan anion (-) dari partikel-partikel tanah.

Pada saat penggunaan Matos, bahan ini larut dalam air pada tingkat kelarutan (molaritas) 10%. Beragamnya komponen Matos memperlemah fungsi negatif dari humus dan akan menurunkan kadar humus itu sendiri. Kemudian, kation kalsium (Ca⁺⁺) pada semen dapat menempel langsung dipermukaan tanah. Matos melarutkan asam humus (humic acid) yang terdapat di dalam tanah serta menghilangkan efek penghambatan ikatan ion, sehingga partikel tanah menjadi lebih mudah bermuatan ion negatif, sehingga kation Ca⁺⁺ dapat mengikat langsung dengan mudah pada partikel tanah, juga membantu menyuplai lebih banyak ion pengganti dan membentuk senyawa asam alumunium silica sehingga membentuk struktur sarang lebah 3 dimensi diantara partikel - partikel tanah.

Pencampuran semen yang mengandung sulfur (SO₃) dengan tanah tidak melibatkan Matos, maka ketika semen bercampur dengan air akan menghasilkan sulfuric acid yang menyebabkan terjadinya keretakan yang reaksi kimianya sebagai berikut : $SO_3 + H_2O = H_2SO_4$. Hal ini akan berbeda jika ditambahkan Matos, dimana pada saat terjadi pengikatan semen pada partikel tanah dan mengering karena reaksi dehidrasi, akan terbentuk kristal - kristal yang muncul diantara campuran semen yang mengikat partikel tanah. Kristal-kristal tersebut menyerupai jarum-jarum, secara intensif akan bertambah banyak dan membesar yang nantinya membentuk rongga-rongga micron yang bisa menyerap air (porositas), sehingga tidak akan terjadi keretakan.



Gambar II.6 Mekanisme Kerja Matos Pada Campuran Tanah Semen

Berikut adalah keunggulan dari Matos sebagai bahan tambah pada campuran tanah semen :

- Meningkatkan parameter daya dukung tanah sehingga dapat digunakan sebagai pengganti LPA dan LPB
- Sesudah curing time tercapai (4 - 14 hari), semakin sering terendam air semakin baik
- Mampu memanfaatkan kadar air di udara secara optimum sehingga tidak brittle
- Memperkecil permeabilitas tanah sehingga dapat digunakan sebagai lapis kedap air

- Meminimalkan penurunan karena modulus elastisitas campuran tanah - semen dengan aditif Matos berada di antara modulus elastisitas tanah dan beton
- Produk yang ramah lingkungan
- Tingkat Komponen Dalam Negeri (TKDN) lebih dari 90%

Matos dalam praktek penggunaannya selalu dipadukan dengan material tanah, semen, dan air. Campuran tanah – semen dibuat terlebih dahulu dengan menambahkan 2-8% semen ke dalam tanah. Selanjutnya membuat larutan Matos dengan mencampurkan 1,2 kg Matos dengan air pada kadar air optimum dan diaduk hingga rata. Larutan Matos disiram pada campuran tanah – semen kemudian dipadatkan hingga mencapai kepadatan kering maksimum. Penggunaan Matos tidak terbatas hanya pada perkerasan jalan. Matos juga dapat digunakan sebagai bahan pelapis saluran (kecepatan kritis 0,35 m/s), perbaikan tanah ekspansif dan gambut, serta perkuatan lereng.

II.6 Klasifikasi Tanah

Pada umumnya klasifikasi tanah didasarkan atas atterberg limit dan gradasi butiran. Penentuan atterberg limit dilakukan hanya pada bagian tanah yang melalui saringan no 40. Untuk mengetahui distribusi partikel yang lebih besar dari 0,002 mm ditentukan dengan dry sieve, sedangkan untuk proses sedimentasi ditentukan dengan menggunakan *hydrometer* pada distribusi partikel yang lebih kecil dari 0,002 mm.

Pada sistem perkerasan jalan, klasifikasi tanah yang umum dipakai adalah The American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO) dan Unified Soils Classification System (USCS).

A. AASHTO

Menurut AASHTO, tanah diklasifikasikan kedalam 7 (tujuh) kelompok besar, yaitu : A-1 sampai dengan A-7 yang didasarkan atas hasil-hasil pengujian laboratorium seperti sieve analysis, Plasticity Index (PI), dan *Liquid Limit* (LL). Tanah-tanah organik kadang-kadang dikategorikan sebagai kelas A-8.

Tabel II.9 Klasifikasi Tanah Menurut AASHTO

Klasifikasi Umum	Material Berbutir Kasar (35% atau kurang lolos saringan No. 200)							Material Lanau-lempung (lebih dari 35% lolos saringan No. 200)			
Klasifikasi Group	A-1		A-3	A-2				A-4	A-5	A-6	A-7
	A-1-a	A-1-b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7				A-7-5 A-7-6
Analisa Tapis; persen lolos:											
No. 10	50 max	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
No. 40	30 max	50 Max	51 max	-	-	-	-	-	-	-	-
No. 200	15 max	25 Max	10 max	35 max	35 Max	35 max	35 Max	36 Min	36 Min	36 Min	36 min
Karakteristik fraksi lolos saringan No. 40											
Batas Cair	-			40 max	41 Min	40 max	41 Min	40 Max	41 Min	40 Max	41 Min
Indeks Plastisitas	6 max		N.P.	10 max	10 Max	11 min	11 Min	10 Max	10 Max	11 Min	11 min*
Jenis Material Pokok	Fragmen batu, kerikil dan pasir		Pasir halus	Kerikil dan Pasir Kelanauan atau Kelempungan				Tanah lanau		Tanah lempung	
Tingkat kegunaan sebagai subgrade	Sangat baik hingga baik							Cukup baik hingga buruk			

* Indeks Plastisitas untuk sub group A-7-5 sama dengan atau kurang dari batas cair dikurang 30.
Indeks Plastisitas untuk sub group A-7-6 lebih besar dari batas cair dikurang 30.

Kategori-kategori ini dibagi lagi menjadi sub kategori yang didasarkan atas sifat-sifat plastisitas tanah dan persentase tanah yang lolos saringan no 200. Faktor Group Index (GI) kemudian menyediakan informasi yang relatif terhadap kualitas bahan.

$$GI = (F - 35)[0.2 + 0.005(LL - 40)] + 0.01(F - 15)(PI - 10)$$

dimana :

F = Persentase Butiran yang Lolos Ayakan No. 200

LL = *Liquid Limit*

PI = Plasticity Index

Secara umum klasifikasi AASHTO menganggap tanah sebagai :

- Lebih buruk untuk dipakai dalam pembangunan jalan bila kelompoknya berada lebih di kanan dalam tabel klasifikasi tanah berdasarkan sistem AASHTO, yaitu tanah A-6 lebih buruk dibandingkan dengan tanah A-5.
- Lebih buruk untuk digunakan dalam pembangunan jalan bila Group Index (GI) bertambah untuk sub kelompok tertentu. Misal tanah A-6(3) lebih buruk dari tanah A-6(1).

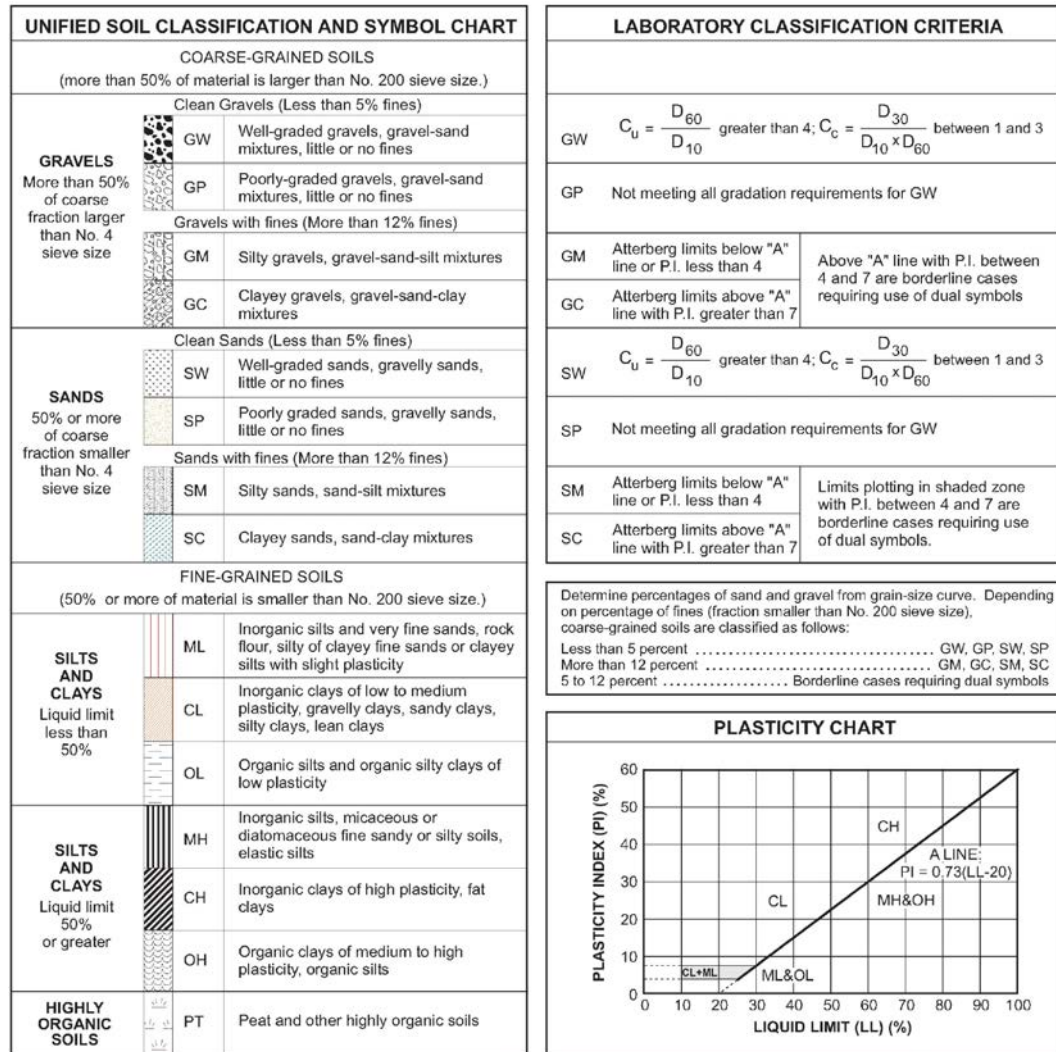
B. USCS

United Soil Classification System (USCS) merupakan metode klasifikasi tanah yang cukup banyak digunakan dalam bidang geoteknik. Klasifikasi ini diusulkan oleh A. Cassagrande pada tahun 1942 dan direvisi pada tahun 1952 oleh The Corps of Engineers and The US Bureau of Reclamation.

Menurut USCS, ada dua jenis tanah yaitu tanah berbutir kasar (kerikil dan pasir) dan tanah berbutir halus (lanau dan lempung). Tanah digolongkan dalam butiran kasar jika lebih dari 50% tertahan diatas saringan No.200. Sedangkan, tanah digolongkan berbutir halus jika lebih dari 50% lolos dari saringan No.200.

Tabel II.10 Simbol dalam Klasifikasi USCS

Symbol	G	S	M	C	O	H	L	W	P
Description	Gravel	Sand	Silt	Clay	Organic Silt And Clay	High Plasticity	Low Plasticity	Well Graded	Poorly Graded

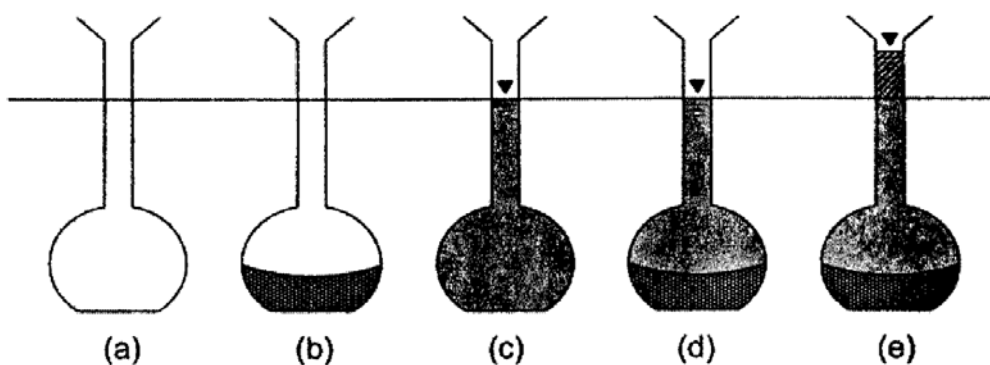


Gambar II.7 Klasifikasi Tanah Menurut USCS

II.7 Berat Jenis

Berat jenis tanah (G_s) adalah perbandingan antara berat tanah di udara (yang mempunyai volume tertentu) pada suhu tertentu terhadap berat air destilasi di udara yang mempunyai volume yang sama dengan volume tanah, pada suhu tertentu. Nilai G_s ini dapat dipakai untuk mengetahui berat relatif tanah terhadap berat air yang mempunyai berat-volume sebesar 1,0. Permasalahan utama pada pengujian

berat jenis adalah cara untuk menentukan volume butiran tanah. secara prinsip, apabila suatu tanah kering dengan berat tertentu (berat piknometer dan tanah pada Gambar II.8b dikurangi berat piknometer kosong, Gambar II.8a) dimasukkan ke dalam piknometer yang berisi air (Gambar II.8c), maka tinggi air pada piknometer meningkat seperti terlihat pada Gambar II.8e. Besarnya volume tanah sama dengan meningkatnya volume air. Oleh karena itu besarnya berat-volume air sama dengan satu, maka volume contoh tanah sama dengan berat peningkatan air.



Gambar II.8 Prinsip Pengujian Berat Jenis

Tabel II.12 menunjukkan berat jenis beberapa mineral yang umum ditemukan dalam tanah. Sebagai besar memiliki berat jenis 2,6 sampai 2,9. Berat jenis tanah pasir berwarna terang, yang sebagian besar terbuat dari Quartz, memiliki berat jenis sekitar 2,65. Sedangkan, tanah lanau dan lempung memiliki berat jenis 2,6 sampai 2,9.

Tabel II.11 Berat Jenis Beberapa Mineral

Mineral	Berat Jenis
Quartz	2,65
Kaolinite	2,6
Illite	2,8
Montmorillonite	2,65 – 2,80

Mineral	Berat Jenis
Halloysite	2,0 – 2,55
Potassium Feldspar	2,57
Sodium and Calcium Feldspar	2,62 – 2,76
Chlorite	2,6 – 2,9
Biotite	2,8 – 3,2
Muscovite	2,76 – 3,1
Hornblende	3,0 – 3,47
Limonite	3,6 – 4,0
Olivine	3,27 – 3,7

II.8 Kekuatan

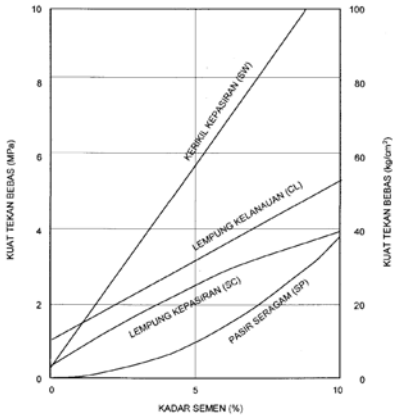
Uji tekan bebas dilakukan tidak sama seperti uji tekan terhadap silinder beton. Sebuah contoh berbentuk silinder kecil dengan tinggi 10 – 15 cm dan diameter separuhnya, dibebani secara aksial sampai ada batas kehancuran. Pembacaan dilakukan setiap interval tertentu selama pembebanan, dan hasilnya digambarkan dalam bentuk kurva hubungan tegangan-regangan. Nilai UCS merupakan nilai maksimum tegangan pada kurva tersebut. Hasil uji stabilisasi tanah bisa dievaluasi dengan mudah setelah pemeraman atau tanpa pemeraman.

Kuat tekan bebas adalah parameter yang banyak digunakan untuk tanah yang distabilisasi dengan semen pada konstruksi jalan. Ini menunjukkan derajat reaksi dari campuran tanah, semen dan air, waktu pengikatan dan tingkat pengerasan. Berikut adalah tabel yang menunjukkan rentang normal dari 7 hari dan 28 hari kuat tekan bebas basah untuk campuran Tanah Semen.

Tabel II.12 Berat Jenis Beberapa Mineral

Soil Type	Wet Compression Strength (psi)	
	7 Days	28 Days
Sandy and Gravelly Soils; AASHTO Groups A-1, A-2, A-3; Unified Group GW, GC, GP, SW, SC, SP, SF	300 – 600	400 – 1000
Silty Soils; AASHTO Groups A-4 and A-5; Unified Groups ML and CL	250 – 500	300 – 900
Clay Soils; AASHTO Groups A-4 and A-5; Unified Groups MH and CH	200 – 400	250 - 600

Umumnya pada berbagai jenis tanah, semakin besar jumlah penambahan semen dalam tanah, maka semakin tinggi nilai kuat tekan UCS.



Gambar II.9 Hubungan Kadar Semen dengan Kekuatan Pada Pemeraman 7 Hari, Suhu 25° C, dan Kadar Air Konstan (Metcalf, 1972)

II.9 Durabilitas

Perkerasan jalan yang kuat dan tahan lama sangat penting untuk kelancaran dan keamanan lalu lintas. Material yang digunakan dalam perkerasan jalan harus mampu menahan berbagai beban dan tekanan, serta berbagai kondisi cuaca dan lingkungan. Pengujian *Unconfined Compression Strength* dan *California Bearing Ratio* merupakan metode umum untuk mengukur kekuatan suatu material perkerasan jalan. Namun, pengujian ini hanya fokus pada kekuatan material pada

saat pengujian dan tidak mempertimbangkan efek jangka panjang dari perubahan cuaca dan lingkungan.

Pengujian durabilitas dirancang untuk mensimulasikan kondisi lapangan yang sebenarnya dan menilai ketahanan suatu material terhadap berbagai faktor, seperti perubahan kadar air, siklus beku-cair, dan siklus basah-kering. Berikut adalah dua jenis pengujian durabilitas :

- 1) Uji Pembebasan dan Pengeringan : Uji ini mengukur kehilangan berat, perubahan kadar air, dan perubahan volume suatu material setelah mengalami siklus pembebasan dan pengeringan berulang kali. Pengujian ini dapat memprediksi kinerja suatu material perkerasan jalan di iklim dengan perubahan suhu dan kelembaban yang signifikan.
- 2) Uji Pembekuan dan Pencairan : Uji ini serupa dengan uji pembebasan dan pengeringan, tetapi menggunakan siklus pembekuan dan pencairan untuk mensimulasikan kondisi di iklim dingin. Pengujian ini dapat memprediksi kinerja suatu material perkerasan jalan di daerah dengan pembekuan dan pencairan tanah yang berulang.

Durabilitas merupakan parameter penting dalam perencanaan suatu perkerasan jalan yang tahan lama. Pengujian ini memberikan informasi penting tentang ketahanan suatu material terhadap berbagai kondisi cuaca dan lingkungan. Material dengan durabilitas tinggi menunjukkan ketahanan yang tinggi terhadap kerusakan akibat faktor lingkungan dan memberikan masa layan yang lebih panjang.

II.10 Lapis Pondasi

Lapis pondasi jalan terdiri atas lapis pondasi atas (base) dan lapis pondasi bawah (subbase). Lapis pondasi atas adalah bagian perkerasan yang terletak antara lapis permukaan dan lapis pondasi bawah, sedangkan lapis pondasi bawah adalah bagian perkerasan yang terletak antara lapis pondasi atas dan tanah dasar.

Pada umumnya perkerasan jalan terdiri dari beberapa jenis lapisan perkerasan yang tersusun dari atas ke bawah, sebagai berikut :

- Lapisan permukaan (*surface course*)

- Lapisan pondasi atas (*base course*)
- Lapisan pondasi bawah (*subbase course*)
- Lapisan tanah dasar (*subgrade*)

Lapis pondasi atas (*base course*) atau disebut agregat lapis pondasi kelas A adalah bagian perkerasan yang terletak antara lapis pondasi bawah dan lapisan permukaan.

Fungsi dari lapis pondasi ini antara lain yaitu :

- Sebagai bagian dari konstruksi perkerasan yang menahan gaya lintang dari beban roda
- Sebagai lapisan peresapan untuk pondasi bawah
- Memberikan bantalan terhadap lapisan permukaan

Lapis pondasi bawah (*subbase course*) atau disebut agregat lapis pondasi kelas B adalah bagian perkerasan yang terletak antara lapis pondasi dan tanah dasar. Fungsi dari lapis pondasi bawah ini antara lain yaitu :

- Sebagai bagian dari konstruksi perkerasan untuk menyebarkan beban roda
- Lapis peresapan, agar air tanah tidak berkumpul di pondasi
- Lapisan untuk mencegah partikel-partikel halus dari tanah dasar naik ke lapis pondasi atas
- Lapis pelindung lapisan tanah dasar dari beban roda-roda alat berat (akibat lemahnya daya dukung tanah dasar) pada awal-awal pelaksanaan pekerjaan
- Lapis pelindung lapisan tanah dasar dari pengaruh cuaca terutama hujan

Berikut adalah beberapa jenis lapis pondasi berdasarkan Spesifikasi Bina Marga.

A. Lapis Pondasi Agregat

Lapis Pondasi Agregat adalah lapis pondasi yang bahan utamanya adalah agregat yang keras dan kompak. Material agregat mencakup antara lain batu bulat, batu pecah, pasir, dan abu batu. Terdapat empat jenis Lapis Pondasi Agregat yaitu : Lapis Pondasi Agregat Kelas A dengan nilai CBR rendaman min. 90%; Lapis Pondasi Agregat Kelas B dengan nilai CBR rendaman min. 60%; Lapis Pondasi Agregat Kelas C dengan nilai CBR rendaman min. 50%; dan Lapis Drainase.

B. Lapis Pondasi Agregat Semen

Lapis Pondasi Agregat Semen terdiri atas dua macam yaitu : Lapis Pondasi Agregat Semen (Cement Treated Base) adalah agregat kelas A yang diberi campuran semen; dan Lapis Pondasi Bawah Agregat Semen (Cement Treated Subbase) adalah agregat kelas B yang diberi campuran semen. Persyaratan kuat tekan UCS masing-masing yaitu CTB 45 - 55 kg/cm² dan CTSB 35 - 45 kg/cm².

C. Lapis Pondasi Tanah Semen

Lapis Pondasi Tanah Semen (Soil Cement) adalah lapis pondasi yang terbuat dari tanah yang distabilisasi dengan semen. Stabilisasi tanah dengan semen adalah campuran tanah dengan semen dan air dengan komposisi tertentu sehingga tanah tersebut memiliki sifat atau daya dukung yang lebih baik. Tanah yang digunakan untuk pondasi tanah semen adalah lempung, lanau dan termasuk tanah berbutir (granular) seperti pasir dan kerikil. Lapisan pondasi semen tanah juga merupakan salah satu konstruksi jalan yang berbiaya rendah dengan kualitas yang mumpuni.

Tabel II.13 Kriteria untuk Tanah Semen (Metcalf, 1972)

Penggunaan	UCS ⁽¹⁾	CBR ⁽²⁾	Kehilangan Berat Uji Wet/Dry	Swell
Sub-base, formasi urugan belakang (backfill) tanggul, dsb	3,5 – 10,5	20 – 80	7	2
Sub-base, base untuk lalu lintas Ringan	7 – 14	50 – 150	10	2
Base untuk lalu lintas berat	14 – 56	200 – 600	14	2

Catatan : (1) UCS 7 hari pemeraman pada kadar air optimum; (2) CBR rendaman 4 hari

Tabel II.14 Parameter Kekuatan Untuk Tanah Semen (Road Note 31, 1993)

Lapisan	UCS (MPa)	CBR (%)	PI (%)
Lapis Pondasi 1	3 - 6	-	Max 6
Lapis Pondasi 2	1,5 – 3	-	Max 10
Lapis Pondasi Bawah	0,75 – 1,5	>70	Max 20
Lapis Penutup Tanah Dasar*	-	>15	-

Catatan : *) adalah lapis perbaikan tanah dasar yang bertujuan agar penggunaan tebal lapis pondasi bawah bisa dikurangi

II.11 Penelitian Terdahulu

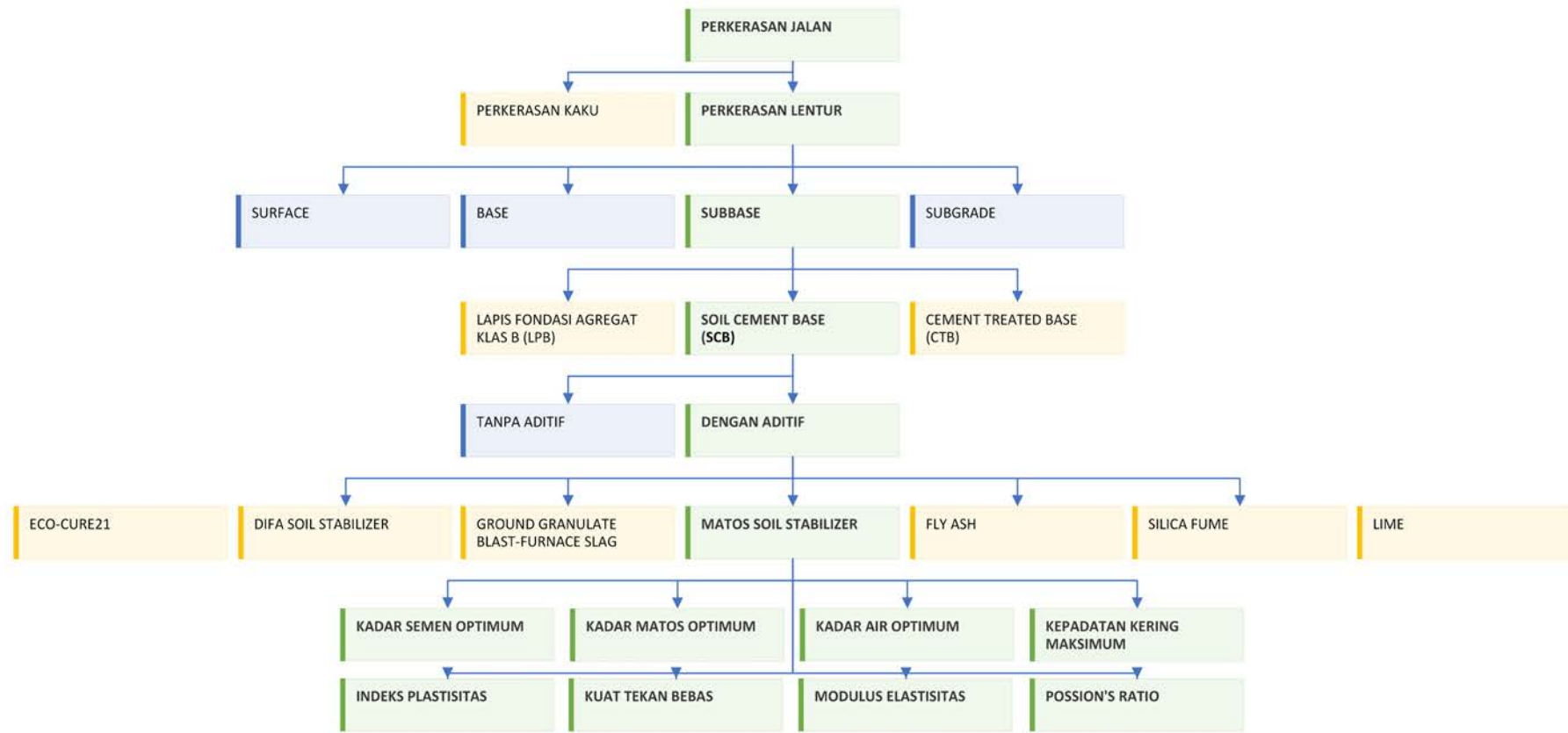
Beberapa penelitian terdahulu yang terkait dengan stabilisasi tanah dengan semen dan bahan tambah, disajikan dalam bentuk tabel berikut.

Tabel II.15 Perbandingan Metode dan Hasil Penelitian Terdahulu – Jurnal

No.	Penulis	Judul	Tahun	Sample Tanah	Jenis Aditif	% Semen	% Aditif	Peningkatan Kuat Tekan UCS	Penurunan Indeks Plastisitas	Kuat Tekan UCS > 20 kg/cm ²
1.	Enden Mina et al.	Pemanfaatan Semen Slag Sebagai Campuran Stabilisasi Tanah dan Pengaruhnya Terhadap Nilai CBR Terendam (Soaked California Bearing Ratio) (Studi Kasus : Jalan Raya Munjul Desa Pasir Tenjo Kabupaten Pandeglang, Banten).	2021	OH Pandeglang	Semen Slag atau <i>Ground Granulate Blast Furnace Slag</i>	-	10 - 30	Nilai CBR meningkat	Ya	-
2.	Osman H. Marbun et al.	Pelaksanaan Pekerjaan Lapis Pondasi Semen Komposit Tanah Pada Ruas Jalan Merauke – Tanah Merah.	2020	CH Merauke	<i>Matos Soil Stabilizer</i>	8 – 12	2	Ya	-	Ya
3.	Yunaefi	Pengujian Kinerja Bahan “ECO-CURE ²¹ ” sebagai Bahan Stabilisasi Tanah untuk Lapisan Sub-Base Perkerasan Jalan.	2010	CH Bojonegoro	ECO-CURE ²¹	8 – 12	0,6 - 1	Ya	Ya	Tidak
4.	Alfonsus Theodorus et al.	Kajian Efektifitas Semen dan Fly ash dalam Campuran Soil Cement Memakai Tanah Lempung dan Pasir Pulau Timor.	2008	CH Pulau Timor	<i>Fly Ash</i>	5 – 15	5 – 15	Ya	Ya	Tidak

Tabel II.16 Perbandingan Metode dan Hasil Penelitian Terdahulu – Tesis

No.	Penulis	Judul	Tahun	Sample Tanah	Jenis Aditif	% Semen	% Aditif	Peningkatan Kuat Tekan UCS	Penurunan Indeks Plastisitas	Kuat Tekan UCS > 20 kg/cm ²
1.	Risman Naga	Kajian Laboratorium Pengaruh Penambahan Zat Aditif DiFA Soil Stabilizer Terhadap Stabilisasi Campuran Soil Cement Menggunakan Tanah Dari Kabupaten Keerom – Papua Sebagai Pengganti Lapis Pondasi Bawah Agregat.	2018	CL Keerom	<i>DiFA Soil Stabilizer</i>	9	1 - 3	Ya	Ya	Tidak
2.	Dessy Rosliani	Kajian Perilaku Stabilisasi Tanah Menggunakan Semen dan Beberapa Bahan Kimia	2010	CH Nagrek	NaCl	4-10	0,1-2,5 g/mol/l	Ya	-	Tidak
3.	Oemi Vierta Moerdika	Stabilisasi Tanah Lateritik dari Lampung untuk Digunakan sebagai Bahan Lapis Pondasi Perkerasan Jalan	2002	CH Lampung Timur	-	2-10	-	Ya	Ya	Ya
4.	Yosua	Stabilisasi Tanah dari Barito Utara dengan Semen untuk Konstruksi Jalan	2000	GC Barito Utara	-	3-12	-	Ya	Ya	Ya



Gambar II.10 Decission Tree Penelitian yang Dilakukan